

## BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-101139

(P2003-101139A)

(43) 公開日 平成15年4月4日(2003.4.4)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	特許庁(参考)
H 0 1 S 5/16		H 0 1 S 5/16	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/42		C 0 2 B 6/42	5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/022		H 0 1 S 5/022	
5/22		5/22	

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2001-288456(P2001-288456)

(22) 出願日 平成13年9月21日(2001.9.21)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 千田 浩明

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100095706

弁理士 泉 克文

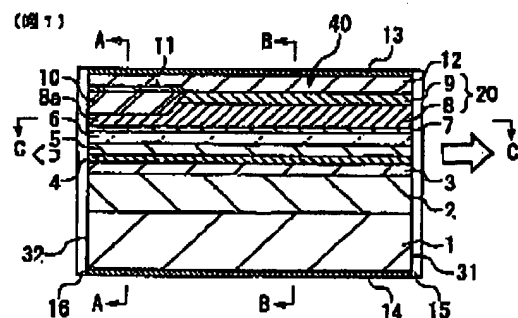
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 端面発光型半導体レーザーおよび半導体レーザー・モジュール

(57) 【要約】

【課題】 ビーム・ステアリングの発生を効果的に抑制し、簡単な構成で最大出力を向上できる半導体レーザーを提供する。

【解決手段】 半導体基板1上に、活性層4および第2クラッド層8を含んで形成された共振器として機能するストライプ状光導波路を設ける。この光導波路は、端面32側の幅の狭いストレート状の基本モード導波部と、出射端面31側のそれよりも幅の広いストライプ状の多モード導波部と、それらを結合するテーパ部を含む。基本モード導波部の少なくとも一部において活性層4への電流注入を抑制する電流注入抑制手段として、電流非注入部8aを第2クラッド層8に形成する。電流非注入部8aは電流ブロック層10により覆われる。



- 1: n-GaAs 基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As クラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層
- 4: i-InGaAs/GaAs 二重異質井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As エッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層
- 8a: 電流非注入領域
- 9: p-GaAs キヤップ層
- 10: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 電流ブロック層
- 11: n-GaAs 電流ブロック層
- 12: p-GaAs ジンクド層
- 13: Ti/Pt/Au p 側電極
- 14: AuGe/Ni n 側電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR 膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR 膜

(2) 003-101139 (P2003-101139A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層およびクラッド層を含んで形成された、共振器として機能する光導波路と、

前記光導波路の一端が接続された、出射端面として機能する第1端面と、

前記光導波路の他端が接続された、出射端面の反対側にある第2端面とを備え、

前記光導波路が幅の異なる少なくとも二つの部分を含んでいると共に、それら少なくとも二つの部分のうちの一つが基本モード導波部とされている端面発光型半導体レーザにおいて、

前記基本モード導波部の少なくとも一部において前記活性層への電流注入を抑制する電流注入抑制手段を有していることを特徴とする端面発光型半導体レーザ。

【請求項2】 前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように形成された電流ブロック層から形成される請求項1に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項3】 前記光導波路の前記クラッド層が窪みを有しており、その窪みに前記電流ブロック層が嵌合している請求項2に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項4】 前記クラッド層の前記窪みにより厚さが減少した部分が、電流非注入領域となっている請求項3に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項5】 前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように前記光導波路の外部に形成された電流制限用マスク層から形成されている請求項1に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項6】 前記電流制限用マスク層が、当該半導体レーザの少なくとも一方の電極に隣接して配置されている請求項5に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項7】 前記電流制限用マスク層が、誘電体から形成されている請求項5または6に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項8】 前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように形成された受動導波領域から形成されている請求項1に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項9】 前記受動導波領域の禁制帯の幅が、当該半導体レーザの共振波長に対応するエネルギーより大きい請求項8に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項10】 前記受動導波領域が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に対してドーパントをイオン注入することによって形成されている請求項8または9に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項11】 前記電流注入抑制手段が、前記第2端面に隣接して配置されている請求項1～10のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項12】 前記電流注入抑制手段が前記第2端面

配置された第2の電流注入抑制手段をさらに有している請求項1～10のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項13】 前記基本モード導波部が3.5 $\mu$ m以下の幅を有し、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の部分が4 $\mu$ m以上の幅を有していると共にその幅で前記第1端面に接続されている請求項1～12のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項14】 前記基本モード導波部が前記第2端面に接続され、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第1部分が前記第1端面に接続されている請求項1～12のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項15】 前記基本モード導波部と前記第1部分とが直接、接続されている請求項14に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項16】 前記基本モード導波部と前記第1部分とが、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第2部分を介して互いに接続されている請求項14に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項17】 前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第1部分と第2部分が、前記第1端面と前記第2端面にそれぞれ接続され、前記基本モード導波部の両端が前記第1部分と前記第2部分にそれぞれ接続されている請求項1～12のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項18】 前記光導波路の全体がテーパー状になっており、その光導波路の幅の狭い側に前記基本モード導波部が配置され、その光導波路の幅の狭い側に前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の部分が配置されている請求項1～12のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項19】 前記光導波路の前記基本モード導波部よりも幅の広い部分が、基本モードに加えてそれより高次のモードを許容する多モード導波部とされ、前記基本モード導波部と前記多モード導波部とが直接、あるいは前記光導波路の前記基本モード導波部よりも幅の広い他の部分を介して滑らかに接続されている請求項1～12のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザ。

【請求項20】 請求項1～19のいずれか1項に記載の端面発光型半導体レーザと、その半導体レーザの前記第1端面に隣接して光ファイバの端部を固定する光ファイバ固定手段とを備えていることを特徴とする半導体レーザ・モジュール。

【請求項21】 前記光ファイバとして、端部に結合用レンズを一体形成した光ファイバを使用するように構成されている請求項20に記載の半導体レーザ・モジュール。

【請求項22】 前記半導体レーザの出力光を、少なく

(3) 003...101139 (P2003-101139A)

するように構成されている請求項20に記載の半導体レーザ・モジュール。

【請求項23】 前記光ファイバとして、先端にレンズ加工が施された光ファイバを使用するように構成されている請求項22に記載の半導体レーザ・モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、端面出射型の半導体レーザに関し、さらに言えば、共振器として機能する光導波路が幅の異なる部分を有していると共に、基本モード導波路における「ビーム・ステアリング」を抑制して最大基本モード出力を向上できる端面出射型の半導体レーザ、およびその半導体レーザを用いた半導体レーザ・モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】「光ファイバ増幅器」は、広帯域の光通信システムにおいて中継装置として重要な役割を果たす。この光ファイバ増幅器としては、従来より、希土類添加光ファイバが使用されているが、この希土類添加光ファイバを励起するには、高出力の半導体レーザ・モジュールが不可欠である。この目的のために使用される例えば、 $9.8\mu\text{m}$ 帯の端面出射型高出力半導体レーザは、シングルモード光ファイバに高い光学的結合効率で結合させなければならない。したがって、この種の半導体レーザでは、安定な基本モードで動作すると同時に、出射端面でシングルモード光ファイバとの良好な光学的結合が得られるように、レンズ系を介して、もしくは直接結合でシングルモード光ファイバの光スポットに整合する発光スポットを持つことが要求される。

【0003】ところで、一般的に、この種の高出力半導体レーザでは、共振器として機能する光導波路の幅は、基本モードのみの伝搬を許容するように、例えば $3.5\mu\text{m}$ 以下に設定され、またその幅は光の伝搬方向（つまり共振器方向）に沿って一定とされる。その理由は、光導波路の幅に応じて、その光導波路で許容される光の導波モード（水平横モード）と数が決定されるからである。この点について図34を参照して説明する。

【0004】図34は、この種の半導体レーザにおいて、光導波路の幅とその光導波路の内外の屈折率差とによって導波路を伝搬するレーザ光の水平横モードが変化する様子を示す。図34の例では、幅 $W$ の光導波路の外部の屈折率が $3.386$ で一定であり、その光導波路の内外の屈折率差が $\Delta n$ としている。すなわち、その光導波路の屈折率は $(3.386 + \Delta n)$ で表される。

【0005】図34より理解されるように、光導波路の幅 $W$ と屈折率差 $\Delta n$ に応じて、その光導波路で許容される光の導波モード（水平横モード）の種類と数が決定される。図34の例では、屈折率差 $\Delta n$ が一定とすると、光導波路の幅 $W$ が十分小さい範囲では、基本モード（ $m$

なると、基本モード（ $m=0$ ）と1次モード（ $m=1$ ）が導波され、さらに大きくなると、基本モード（ $m=0$ ）と1次モード（ $m=1$ ）と2次モード（ $m=2$ ）が導波されるようになる。以後、同様にして、光導波路の幅 $W$ が大きくなるにつれて、3次モード（ $m=3$ ）や4次モード（ $m=4$ ）も導波されるようになる。このように、基本モード（ $m=0$ ）の光のみを導波させようとするれば、屈折率差 $\Delta n$ に応じて、光導波路の幅 $W$ を選択することが必要となるのである。

【0006】しかし、上述した一般的な高出力半導体レーザでは、共振器として機能する光導波路の幅が共振器方向に沿って一定とされているために、次のような問題が生じる。

【0007】すなわち、安定な水平横モードを得るためには、共振器として機能する光導波路（ストライプ）の幅を狭くする必要がある。他方、高出力動作を考慮して出力光にある程度広いスポット・サイズを持たせるには、その光導波路の幅を広くするのが有効である。従って、光導波路の幅が一定である場合、これら二つの要請のうちのいずれか一方しか実現できない、のである。

【0008】ここで、出力光のスポット・サイズを広げるには光導波路の幅を広くするのが有効である理由について、図35を参照して説明する。

【0009】図35は、図34で用いたのと同じ半導体レーザにおいて、光導波路の幅 $W$ と水平スポットサイズの半値幅の関係を示すグラフである。屈折率差 $\Delta n$ は、 $\Delta n = 3.5 \times 10^{-3}$ （ $=0.0035$ ）に設定してある。

【0010】図35より理解されるように、光導波路の幅 $W$ に応じてその光導波路からの出力光の水平スポット・サイズが変化し、幅 $W$ が約 $1.5\mu\text{m}$ よりも大きくなると、光導波路の幅 $W$ にほぼ比例して水平スポット・サイズの半値幅が大きくなっている。このように、水平方向に幅広い光スポットを得るには、光導波路の出力端の幅 $W$ を広くするのが有効である。

【0011】そこで、上記の相反する（つまりトレードオフの関係にある）二つの要請（水平横モードの安定化とスポット・サイズの拡大化）を満たすべく、従来より、共振器として機能する光導波路の幅を共振器方向に沿って変化させたものが種々、開発・提案されている。

【0012】例えば、特開平9-307181号公報に開示されている半導体レーザでは、共振器として機能する光導波路を「テーパ状」ストライプとしている。この半導体レーザは、半導体基板上に光を発生する活性層と、光を閉じ込める半導体クラッド層と、レーザ光を得るための共振器構造と、共振器方法に沿ってストライプ状に他の部分よりも実効屈折率の高い領域とを有しており、上記実効屈折率の高い領域の幅が共振器方向に沿って指数関数に従って変化している。そして、上記実効屈

(4) 003-101139 (P2003-101139A)

m以下、他方の共振器端面側で $5\mu\text{m}$ 以上とされている。

【0013】共振器として機能するテーパー状光導波路の両側には、電流狭窄層が選択的に形成されており、その電流狭窄層によってテーパー状光導波路が実現されている。

【0014】上記特開平9-307181号公報の上記半導体レーザでは、高い光密度が問題となる前端面（出射端面）でストライプの幅を広く（ $5\mu\text{m}$ 以上に）して光スポットを広げることにより、光密度の低減を図り、もって光学的ミラー損傷〔COD（Catastrophic Optical Damage）、COMD（Catastrophic Optical Mirror Damage）〕による劣化を抑制している。他方、光密度が比較的小さい後端面でストライプの幅を狭く（ $3.5\mu\text{m}$ 以下に）することにより、横モードの安定化を図り、もって高出力動作を制限する主要因であるキンクの発生を抑制し、200mW以上のキンクフリー光出力を得ている。その結果、モード変換に伴うモード損失が生じず且つ横モードが安定するので、高出力半導体レーザにおいて高信頼化が実現される、としている。

【0015】なお、上記特開平9-307181号公報の上記半導体レーザでは、上記実効屈折率の高い領域の幅を端面近傍において一定にすることもできる。

【0016】また、特開平8-340147号公報には、上記特開平9-307181号公報に記載のものと同様の構造を持つ半導体レーザが開示されている。上記の特開平9-307181号公報に記載の半導体レーザは、特開平8-340147号公報に記載の半導体レーザを利用したものと解される。

【0017】さらに、特開平8-23133号公報にも、共振器として機能する光導波路の幅を共振器方向に沿って変化させた半導体レーザが開示されている。この半導体レーザは、横モード制御構造としてリッジ導波路構造を採用しており、また、そのリッジ導波路構造の両側において、活性層のすべてを除去しあるいは溝を形成することによって、放射モードを抑制している。こうすることにより、ワットクラスの高出力レベルまで安定に横基本モードで動作させることができる、製造の歩留まりが高い、特性再現性が良好である、という効果を得ている。

【0018】特開平9-289354号公報には、基板に対して水平方向に光スポット径が大きく、低閾値電流で、高出力の半導体レーザが開示されている。この半導体レーザでは、活性層を含む半導体多層構造を半導体基板上に形成しており、その活性層は共振器方向に対してストライプ状に形成されている。そして、その活性層のストライプ幅は、前端面における幅 $W1$ と後端面における幅 $W2$ との間に $W1 > W2$ の関係があると共に、共振器方向に対して $W2$ から $W1$ へ連続的に増加している。

レーザ光を発生するようにしている。

【0019】上記特開平9-289354号公報の半導体レーザでは、前端面（出射端面）における幅 $W1$ は、結合すべき光ファイバを伝搬する光のスポット径と同程度に設定される。後端面における幅 $W2$ は、単一横モードでレーザ発振するように設定される。

【0020】特開平5-267772号公報には、SHG用光源として横モード制御された超高出力の半導体レーザが開示されている。この半導体レーザは、端面部にブロードエリア構造を採用し、キャビティ内部において幅の狭いストライプを形成したものであり、その幅の狭いストライプ部を利得導波路構造としている。

【0021】上記特開平5-267772号公報の半導体レーザでは、端面部にブロードエリア構造を採用することにより、端面での光スポット・サイズが大きくなるので、端面劣化が起らず高出力動作が可能となる。また、キャビティ内部に狭ストライプ部を採用しているので、モード・フィルタリングによって高次モードをカットできる。狭ストライプ部が利得導波路構造を有しているため、ブロードエリア領域と狭ストライプ領域の境界において光が導波路に沿って効率よく広がり、効率よく基本モードが選択される、としている。

【0022】上述した特開平9-307181号公報と特開平8-340147号公報と特開平9-289354号公報に開示された従来の半導体レーザでは、安定な横モードを得ると同時に光ファイバとの結合を考慮したある程度幅広い光スポットを得ることが可能である。

【0023】上記の特開平8-23133号公報に開示された従来の半導体レーザでは、光ファイバとの結合については明記されていないが、安定な横モードを得ると同時に、光ファイバとの結合を考慮したある程度幅広い光スポットを得ることが可能と解される。

【0024】上記の特開平5-267772号公報に開示された従来の半導体レーザでは、安定な横モードは得られるが、端面劣化を防止するために端面近傍のストライプ幅が広く設定されるので、光ファイバ（特に、単一モード光ファイバ）との結合は困難と解される。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者の検討したところによれば、上述した従来の半導体レーザはいずれも、次のような問題を有している。

【0026】すなわち、上述した従来の半導体レーザでは、動作時には、共振器として機能する光導波路（つまりストライプ）に対して直交するように、所定の電流が供給される。したがって、発振時に基本モード（ $m=0$ ）のみが伝搬するようにストライプの基本モード部（幅の狭い部分）の幅が設定されていても、注入電流密度があるレベル（例えば、 $2 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ ）を超えると、基本モードが維持できなくなる、という問題が

(5) 003-101139 (P2003-101139A)

【0027】光導波路の利得分布や屈折率は、常に一定というわけではなく、注入電流密度の増加に伴って変動する。注入電流密度が非常に高くなると、利得分布と屈折率分布は予め設定していたものから大きくずれてくる。これは、利得分布と屈折率分布が新たに生じたことに相当する。こうして生じた新たな利得分布と屈折率分布は、低い注入電流密度で許容されていた基本モード以外の高次モードの導波を許容する。この点は、例えば、「(基礎と応用)半導体レーザ」(伊藤良一・中村道治共編、1989年培風館発行、第97頁)に示されている。

【0028】このため、例えば「アイトリプルイー・フォトリクス・テクノロジー・レーザズ、第6巻、第12号、1994年12月、第1409頁～第1411頁」(IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 6, No. 12, December 1994, pp. 1409-1411)に示されているように、それまで直進していた導波光が屈曲するようになり、その結果、出力光ビームの方向が変わってしまうことがある。この現象は「ビーム・ステアリング」と呼ばれている。

【0029】上記の機構に起因して、たとえ光導波路の基本モード部が所望の基本モードのみを導波するように構成されていても、注入電流密度があるレベル(例えば、 $2 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup>)を超える場合には、出力光ビームの出射方向が所定の方向から外れてしまう、という問題が生じるのである。これは、光ファイバ等の光学系との結合効率を減少させ、光出力の利用効率の低下を引き起こす。

【0030】高出力半導体レーザの最大出力は、「熱飽和」によっても制限される。熱飽和は、注入電流によって半導体レーザ内部で発生するジュール熱が当該半導体レーザの利得の飽和を引き起こすことに起因する。

【0031】本発明は、このような問題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、上述したビーム・ステアリングの発生を効果的に抑制することができる半導体レーザと、その半導体レーザを用いた半導体レーザ・モジュールを提供することにある。

【0032】本発明の他の目的は、簡単な構成で最大出力を向上させることができる半導体レーザと、その半導体レーザを用いた半導体レーザ・モジュールを提供することにある。

【0033】本発明のさらに他の目的は、出力光と外部の光学系との結合効率の低下を防止できる半導体レーザと、その半導体レーザを用いた半導体レーザ・モジュールを提供することにある。

【0034】ここに明記しない本発明のさらに他の目的は、以下の説明および添付図面から明らかになる。

【0035】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明の半導体

た、共振器として機能する光導波路と、前記光導波路の一端が接続された、出射端面として機能する第1端面と、前記光導波路の他端が接続された、出射端面の反対側にある第2端面とを備え、前記光導波路が幅の異なる少なくとも二つの部分を含んでおり、それら少なくとも二つの部分のうちの一つが基本モード導波部とされている半導体レーザにおいて、前記基本モード導波部の少なくとも一部において前記活性層への電流注入を抑制する電流注入抑制手段を有していることを特徴とするものである。

【0036】(2) 本発明の半導体レーザでは、前記光導波路の幅の異なる少なくとも二つの部分のうちの一つが基本モード導波部とされており、その基本モード導波部の少なくとも一部が、前記活性層への電流注入を抑制する電流注入抑制手段を有している。このため、前記基本モード導波部内では、電流注入抑制手段を設けない場合に比べて、動作時に前記活性層に注入される電流の量が減少する、あるいはまったく電流が注入されなくなり、前記基本モード導波部内における実効的な注入電流密度が低下する。よって、前記基本モード導波路部の注入電流密度が一定のレベルを超えることによって生じるビーム・ステアリングの発生を抑制できる。

【0037】また、前記電流注入抑制手段を設けるだけでビーム・ステアリングの発生を抑制できることから、簡単な構成で最大出力を向上させることが可能となる。しかも、出力光と外部の光学系との結合効率の低下も防止できる。

【0038】(3) 本発明の半導体レーザの好ましい例では、前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように形成された電流ブロック層から形成される。この場合、前記光導波路の前記クラッド層が窪みを有しており、その窪みに前記電流ブロック層が嵌合しているのが好ましい。前記クラッド層の前記窪みにより厚さが減少した部分は、電流非注入領域となっているのが好ましい。

【0039】本発明の半導体レーザの他の好ましい例では、前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように前記光導波路の外部に形成された電流制限用マスク層から形成される。この場合、前記電流制限用マスク層は、当該半導体レーザの少なくとも一方の電極に隣接して配置されるのが好ましい。前記電流制限用マスク層は、誘電体から形成されるのが好ましい。

【0040】本発明の半導体レーザのさらに他の好ましい例では、前記電流注入抑制手段が、前記基本モード導波部の少なくとも一部に重なるように形成された受動導波領域(つまり利得を有しない導波領域)から形成される。この場合、前記受動導波領域の禁制帯の幅は、発振波長に対応するエネルギーより大きければよい。好まし

(6) 003-101139 (P2003-101139A)

なくとも一部に対してドーパントをイオン注入することによって形成される。

【0041】前記電流注入抑制手段は、前記第2端面に隣接して配置されるのが好ましい。

【0042】本発明の半導体レーザのさらに他の好ましい例では、前記電流注入抑制手段が前記第2端面に隣接して配置されると共に、前記第1端面に隣接して配置された第2の電流注入抑制手段を有する。この場合、出射端面の損傷を効果的に防止できる利点が生じる。

【0043】本発明の半導体レーザのさらに他の好ましい例を挙げると、次の通りである。

【0044】前記基本モード導波部が $3.5\mu\text{m}$ 以下の幅を有し、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の部分が $4\mu\text{m}$ 以上の幅を有していると共にその幅で前記第1端面に接続される。

【0045】前記基本モード導波部が前記第2端面に接続され、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第1部分が前記第1端面に接続される。この場合、前記基本モード導波部と前記第1部分とが直接、接続される。あるいは、前記基本モード導波部と前記第1部分とが、前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第2部分を介して互いに接続される。

【0046】前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の第1部分と第2部分が、前記第1端面と前記第2端面にそれぞれ接続され、前記基本モード導波部の両端が前記第1部分と前記第2部分にそれぞれ接続される。

【0047】前記光導波路の全体がテーパ状になっており、その光導波路の幅の狭い側に前記基本モード導波部が配置され、その光導波路の幅の狭い側に前記基本モード導波部よりも幅の広い前記光導波路の部分が配置される。

【0048】前記光導波路の前記基本モード導波部よりも幅の広い部分が、基本モードに加えてそれより高次のモードを許容する多モード導波部とされ、前記基本モード導波部と前記多モード導波部とが直接、あるいは前記光導波路の前記基本モード導波部よりも幅の広い他の部分を介して滑らかに接続される。

【0049】(4) 本発明の半導体レーザ・モジュールは、上記(1)と(3)において述べた半導体レーザのいずれか一つと、その半導体レーザの前記第1端面に隣接して光ファイバを端部を固定する光ファイバ固定手段とを備えていることを特徴とするものである。

【0050】本発明の半導体レーザ・モジュールの好ましい例では、前記光ファイバとして、端部に結合用レンズを一体形成した光ファイバを使用するように構成される。

【0051】本発明の半導体レーザ・モジュールの他の好ましい例では、前記半導体レーザの出力光を、少なく

するように構成される。この場合、前記光ファイバとして、先端にレンズ加工が施された光ファイバを使用するように構成されるのが好ましい。

【0052】

【発明の実施の形態】以下、この発明の好適な実施の形態を添付図面を参照しながら具体的に説明する。

【0053】(第1実施形態)図1～図4は、本発明の第1実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ( $980\text{nm}$ 帯)の構成を示す。

【0054】この半導体レーザは、濃度 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ でシリコン(Si)をドーピングしてなるn型GaAs基板1(厚さ:約 $350\mu\text{m}$ )を備えている。この基板1の上には、n型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ クラッド層(厚さ:  $2000\text{nm}$ 、Si濃度:  $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ )2が形成され、さらにその上にn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 光閉じ込め層(厚さ:  $100\text{nm}$ 、Si濃度:  $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ )3が形成されている。この光閉じ込め層3の上には、i型 $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ ウェル層(厚さ:  $5\text{nm}$ )とi型GaAsバリア層(厚さ:  $5\text{nm}$ )を交互に積層してなる二重量子井戸活性層4が形成されている。

【0055】活性層4の上には、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 光閉じ込め層(厚さ:  $100\text{nm}$ 、Mg濃度:  $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )5と、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第1クラッド層(厚さ:  $200\text{nm}$ 、Mg濃度:  $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )6と、p型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ エッチング停止層(厚さ:  $50\text{nm}$ 、Mg濃度:  $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )7とがこの順に積層・形成されている。

【0056】n型クラッド層2、n型光閉じ込め層3、二重量子井戸活性層4、p型光閉じ込め層5、p型第1クラッド層6、およびp型エッチング停止層7は、基板1の全表面を覆っている。

【0057】p型エッチング停止層7の上には、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層(厚さ:  $1500\text{nm}$ 、Mg濃度:  $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )8と、p型GaAsキャップ層(厚さ:  $500\text{nm}$ 、Mg濃度:  $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )9とが積層・形成されている。これら二つの層8と9は、図3に明瞭に示すように、メサ型のリッジ構造20を形成しており、基板1の全表面を覆っていない。また、これら二つの層8と9(つまりリッジ構造20)は、基板1の中央部に位置していて、当該半導体レーザのはぼ中心軸上に延在している。層8と9の両側では、エッチング停止層7の表面が露出している。層8と9からなる半導体リッジ構造20に沿って、当該半導体レーザの光共振器として機能する光導波路40が形成されている。

【0058】リッジ構造20の左右両側においてエッチング停止層7上に存在する空間は、エッチング停止層7上に形成されたn型 $\text{AlGaAs}$ 電流ブロック層(厚さ:  $1000\text{nm}$ 、Si濃度:  $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ )10

(7) 003-101139 (P2003-101139A)

s電流ブロック層(厚さ:500nm、Si濃度: $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )11により埋め込まれている。n型電流ブロック層10の上面は、p型キャップ層9と上面とほぼ同じである。換言すれば、n型電流ブロック層10の高さは、リッジ構造20の高さとほぼ同じである。したがって、n型電流ブロック層11は、リッジ構造20の上面より少し高い位置にあり、p型キャップ層9の表面はn型電流ブロック層11の間から露出している。

【0059】また、図1に明瞭に示すように、p型第2クラッド層8は、端面32の側において一部が切欠されて窪みが形成されており、その箇所では厚みが薄くなっている。そして、n型電流ブロック層10は、p型第2クラッド層8のその窪みに嵌合して埋め込まれている。よって、n型電流ブロック層10(そしてn型電流ブロック層11)の平面形状は、略U字形になる(図4参照)。p型第2クラッド層8の厚みが薄い部分は、n型電流ブロック層10と11により当該半導体レーザの動作時においても電流が注入されないようにした部分である。この部分を、p型第2クラッド層8の「電流非注入領域8a」と呼ぶ。

【0060】n型GaAs電流ブロック層11とその間から露出したp型GaAsキャップ層9の上には、p型GaAsコンタクト層(厚さ:500nm、Mg濃度: $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )12が形成され、その上にはさらにT1PtAuよりなるp側電極13が形成されている。コンタクト層12とp側電極13は、いずれも基板1の全表面を覆っている。

【0061】n型GaAs基板1の裏面(下面)には、AuGeNiよりなるn側電極14が形成されている。n側電極14は基板1の全裏面を覆っている。

【0062】当該半導体レーザの二つの端面31と32は、第2クラッド層8とキャップ層9よりなるリッジ構造20も用いて形成される光導波路40に直交している。前方の端面31は全体が反射防止(Anti Reflection, AR)膜15で覆われており、後方の端面32は全体が高反射(High Reflectance, HR)膜16で覆われている。反射防止膜15は、誘電体の単層膜あるいは多層膜で形成される。高反射膜16は、誘電体の多層膜で形成される。

【0063】光導波路40を形成する半導体リッジ構造20は、n型GaAs基板1上において、当該半導体レーザの前端面31から後端面32まで延在しており、その出力光は前端面31より放射される。つまり、前端面31が出力光の「出射端面」となる。

【0064】半導体リッジ構造20に沿って延在する光導波路40は、図4に明瞭に示すように、その中心軸に対して左右対称の平面形状を有しており、相対的に狭い幅Waを持つストレート部40aと、相対的に広い幅Wbを持つストレート部40cと、それら二つのストレ-

成されている。ストレート部40aの一端(図4では左端)は、当該半導体レーザの後端面32に接続されている。ストレート部40cの一端(図4では右端)は、当該半導体レーザの前端面つまり出射端面31に接続されている。

【0065】幅広のストレート部40cは、その幅Wcを例えば5 $\mu\text{m}$ 以上に設定することにより、基本モード( $m=0$ )に加えて高次モード( $m=1, 2, \dots$ )の光の導波も許容する「多モード導波路」を構成している。導波路内外の屈折率差を十分に小さくした場合には、幅広の導波路であっても基本モードのみを導波させることが可能であるから、そのようにした場合には、幅広のストレート部40cは幅広の「基本モード導波路」を構成する(これは、以下のすべての実施形態にも当てはまる)。つまり、幅広のストレート部40cは、「多モード導波路」あるいは「基本モード導波路」を構成する。他方、幅狭のストレート部40aは、その幅Waを例えば3.5 $\mu\text{m}$ 以下に設定することにより、いわゆるモード・フィルタ機能を与えられていて、基本モード( $m=0$ )の光の導波のみを許容する「基本モード導波路」を構成している。テーパー部40bは、二つのストレート部40aと40cを光学的に接続する機能をもつ。従って、テーパー部40bと二つのストレート部40aと40cからなるレーザ共振器では、基本モードのみが励振される。

【0066】図3に明瞭に示すように、リッジ構造20は実際にはメザ型(つまり横断面が台形)であるから、光導波路40の各部分40a、40b、40cの幅Wa、Wb、Wcも、いずれもその底面から頂面に向かうにつれて徐々に減少する。よって、この明細書では、幅Wa、Wb、Wcはそれぞれ、その最大値(底面における幅)とする。

【0067】また、光導波路40の幅は、光導波に寄与する実効屈折率の高い領域の幅であり、半導体リッジ構造20の幅とは必ずしも一致しない。

【0068】次に、図5～図8を参照しながら、上記構成を持つ本発明の第1実施形態の半導体レーザの製造方法について説明する。

【0069】まず最初に、n型GaAs基板1を準備し、その表面に、図5に示すように、n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層2、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光閉じ込め層3、1型二重量子井戸活性層4、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光閉じ込め層5、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層6、p型Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層7、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8、およびp型GaAsキャップ層9を、適当な結晶成長技術を用いて順に積層・形成する。

【0070】ここで使用する結晶成長技術としては、例えば、有機金属化学蒸着法(Meta-Organic Chemical Va-

(8) 003-101139 (P2003-101139A)

シャル成長法 (Molecular-Beam Epitaxy, MBE) などが挙げられる。

【0071】次に、p型GaAsキャップ層9の上に、誘電体膜（例えばSiO<sub>2</sub>膜）を形成した後、公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いてその誘電体膜を選択的にエッチングし、図5に示すような形状にパターン化する。こうして、p型GaAsキャップ層9の上に誘電体マスク21Aを形成する。誘電体マスク21Aは、キャップ層9のみをエッチングするのに使用されるものである。誘電体マスク21Aのパターンは、光導波路40とリッジ構造20の平面形状にほぼ合致する。

【0072】誘電体マスク21Aは、例えば、幅が3.5μm（均一）で長さが400μmのストライプ状遮光領域21Aaと、幅が3.5μm～5μmまで変化すると共に長さが200μmのテーパー状遮光領域21Abと、幅が5μm（均一）で長さが200μmのストライプ状遮光領域21Acとを有する。

【0073】実際の工程では、1枚の基板1上に多数の半導体レーザを同時に形成するので、実際の誘電体マスク21Aでは、遮光領域21Aa、21Ab、21Acからなる上記パターンが等間隔で所定数、配置されるようにする。

【0074】誘電体マスク21Aを用いて、p型GaAsキャップ層9を選択的にエッチング除去し、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8を露出させる。この時の状態は図5に示す通りである。

【0075】次に、誘電体マスク21Aを部分的にエッチングし、光導波路40の電流非注入領域8aとなるべき箇所（基本モード導波路となるべき部分）、つまりストライプ状遮光領域21Aaを選択的に除去する。こうして、図6に示すような誘電体マスク21を得る。誘電体マスク21は、誘電体マスク21Aのストライプ状領域21Aaに対応する箇所において、キャップ層9を露出させるものである。誘電体マスク21は、テーパー状遮光領域21bとストライプ状遮光領域21cから形成される。

【0076】こうして得た誘電体マスク21を用いて、誘電体マスク21Aのストライプ状領域21Aaに対応する箇所にストライプ状に残されているp型GaAsキャップ層9と、未だエッチングされていないp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8とを選択的にエッチングする。その結果、図6に示すようなリッジ構造20が得られる。p型Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As第1クラッド層6の上にはp型Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層7が設けられているため、このエッチング工程におけるエッチング作用はp型第1クラッド層6に及ばない。その結果、第2クラッド層8とキャップ層9のみが選択的にエッチングされ、図6に示すようなリッジ構造20が得られる。

【0077】こうして得られるリッジ構造20は、誘電体マスク21の形状を反映して、テーパー状領域20bとストライプ状領域20cとを有していると共に、ストライプ状の残存p型GaAsキャップ層9の形状を反映して、ストライプ状領域20aを有している。

【0078】図6の状態では、残存p型GaAsキャップ層9に対応する箇所に、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8が例えば厚さ約200nmほど残存するので、この部分が第2クラッド層8の電流非注入領域8aとなる。この電流非注入領域8aは、リッジ構造20の内部の第2クラッド層8と連続しているため、電流非注入領域8aが形成する光導波路40の部分と、リッジ構造20の内部の第2クラッド層8が形成する光導波路40の部分とが、光学的にほぼ無損失で結合される。

【0079】電流非注入領域8aが形成する光導波路40の部分（基本モード導波路となるべき部分）では、導波損失が生じることが避けられない。したがって、電流非注入領域8aの長さを基本モード導波路の長さよりも短くし、基本モード導波路の一部のみを電流非注入領域8aとしてもよい。

【0080】その後、誘電体マスク21を残したまま、エッチング停止層7上に、MOCVDやMBEなどの方法により、n型AlGaAs電流ブロック層10とn型GaAs電流ブロック層11とを順に選択的に成長させる。こうして、図7に示すように、リッジ構造20の両側に生じた空間と電流非注入領域8aの上方の空間とを埋め込む。電流ブロック層10の上面は、残存している第2クラッド層8の上面とほぼ同じ高さになるように調整する。したがって、電流ブロック層11は第2クラッド層8の上面より上方に位置する。

【0081】次に、誘電体マスク21を除去した後、n型GaAs電流ブロック層11とその間から露出したp型GaAsキャップ層9の上に、p型GaAsコンタクト層12を成長させ、図8に示す構成を得る。この時、コンタクト層12が、露出していたp型GaAsキャップ層9の上も覆うようにする。コンタクト層12は基板1の全表面にわたって形成する。

【0082】次に、p型GaAsコンタクト層12の上に、基板1の全表面にわたってTiPtAuよりなるp側電極13を形成する。

【0083】その後、GaAs基板1の裏面を研磨して100μm程度にまで薄くしてから、その基板1の裏面にAuGeNiよりなるn側電極14を形成する。n側電極14は基板1の全裏面を覆っている。

【0084】そして、光導波路40に直交する方向に劈開してから、各半導体レーザにおいて、第2クラッド層8とキャップ層9よりなるリッジ構造20に沿って延在する光導波路40に直交する前端面31に、反射防止膜15を形成する。



(9) 003-101139 (P2003-101139A)

された半導体レーザを、それらの光導波路40つまりリッジ構造20の中央で切断・分離する。こうして、図1に示す構成の半導体レーザが得られる。

【0085】実際の製造工程では、半導体レーザの完成時に、マスク寸法として示した光導波路40の幅はエッチングにより約0.5 $\mu$ m縮小される。よって、狭いストレート部40aの幅Waは3.0 $\mu$ m、広いストレート部40cの幅Wcは4.5 $\mu$ mとなり、それら両ストレート部40aと40cとをつなぐテーパー部40bの幅は、3.0 $\mu$ mから4.5 $\mu$ mまで徐々に増加する。

【0086】以上述べたように、本発明の第1実施形態の端面発光型半導体レーザでは、光導波路40が、狭い幅Waのストレート部40aと、広い幅Wcのストレート部40cと、それら両ストレート部40aと40cとをつなぐテーパー部40bとから構成されており、幅の狭いストレート部40aが「基本モード光導波路」として機能し、幅の広いストレート部40cが光ファイバに対して高効率で結合される「多モード光導波路」（あるいは「基本モード導波路」）として機能する。

【0087】また、光導波路40の幅の狭いストレート部（基本モード光導波路）40aが、その全長に及ぶ電流非注入領域8aをクラッド層8を設けているため、動作時には基本モード光導波路40aの内部に電流が注入されない。よって、基本モード導波路40a内における実効的な注入電流密度が低下する。その結果、基本モード導波路部40aの注入電流密度が一定のレベルを超えることによって生じるビーム・ステアリングの発生を抑制できる。

【0088】また、電流注入抑制手段として電流非注入領域8aを設けるだけでビーム・ステアリングの発生を抑制できることから、簡単な構成で最大出力を向上させることが可能となる。しかも、当該半導体レーザの出力光と外部の光学系（例えば光ファイバ）との結合効率の低下も防止できる。

【0089】その具体例を図32に示す。図32より理解されるように、第1実施形態の半導体レーザでは、従来の半導体レーザに比べてキンクフリー光出力が上昇している（図32では、キンクは現れていない）。これは、光出力の全範囲でビーム・ステアリングを防止することができることを意味するものである。よって、注入電流を増加させることにより、いっそう高い光出力まで使用可能となる。

【0090】さらに、光導波路40の広幅Wcのストレート部40cが当該半導体レーザの出射端面31に接続されているため、楔ファイバや円柱レンズ・ファイバなどのレンズ付き光ファイバに対して極めて高い光学的結合効率を得られる。

【0091】なお、レンズ付き光ファイバの例は、特開平8-86923号公報に開示されている。レンズ付き

ーザの出力光を、光ファイバの円形コアに対して高い結合効率で結合することを可能とするものである。

【0092】例えば、「楔ファイバ」は、光源または出射光に対向する光ファイバ端の一部に、斜断面を設けて楔状とし、この先端に所望の曲率を設けたものである。

「円柱レンズ・ファイバ」は、光源または出射光に対向する光ファイバ端の一部に、斜断面を設けて楔状とし、この先端に所望の曲率を設けたものである。

【0093】光導波路40のストレート部40cの幅Wcが4.5 $\mu$ mの近傍にある場合、例えば、コーニング社CS980光ファイバは、モード・フィールド径が約4.2 $\mu$ mであるので、その光ファイバに対して水平方向の結合性が高く、その光ファイバの垂直方向にレンズ加工を施して直接、結合させると、特に高い結合効率を得られる。

【0094】光導波路40を伝搬する光の波面について見ると、幅の狭いストレート部（基本モード部）40aでは、光の波面は平面であるが、テーパー部40bでは球面状となる。そして幅の広いストレート部（多モード部）40cでは再び平面状に戻される。したがって、出力光の波面は平面であり且つ出射端面31に平行となる。その結果、出力光の波面の曲がり起因する光ファイバとの結合時の損失が、ストレート部（多モード部）40cの存在によって抑制される、という利点もある。

【0095】（第2実施形態）図9～図13は、本発明の第2実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ（980nm帯）の構成を示す。この半導体レーザは、二つの電流非注入領域8aと8bを第2クラッド層8に形成した点を除き、第1実施形態の半導体レーザと同じ構成を持つ。よって、第1実施形態の半導体レーザと同一の構成については、同じ符号を付してその説明を省略する。

【0096】第2実施形態の半導体レーザは、第1実施形態の半導体レーザとほぼ同じ多層構造を有している。すなわち、n型GaAs基板1の上に順に、n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層2、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光閉じ込め層3、二重量子井戸活性層4、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光閉じ込め層5、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層6、p型Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層7が積層・形成されている。

【0097】p型エッチング停止層7の上には、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8、p型GaAsキャップ層9が積層・形成されている。これら二つの層8と9は、図11に明瞭に示すように、メサ型のリッジ構造20を形成している。半導体リッジ構造20に沿って、当該半導体レーザの光共振器として機能する光導波路40が形成されている。

【0098】リッジ構造20の左右両側においてエッチング停止層7上に存在する空間は、エッチング停止層7上に形成されたn型AlGaAs電流ブロック層10

(40) 103-101139 (P2003-101139A)

まれている。p型キャップ層9の表面はn型電流ブロック層11の間から露出している。

【0099】第1実施形態の半導体レーザとは異なり、p型第2クラッド層8は、図9に明瞭に示すように、端面31および32の近傍においてそれぞれ一部が切欠されて窪みが形成されていて、それら二つの箇所では厚みが薄くなっている。そして、n型電流ブロック層10は、p型第2クラッド層8のそれら二つの窪みに嵌合して埋め込まれている。よって、n型電流ブロック層10（そしてn型電流ブロック層11）の平面形状は、略O字形になる。p型第2クラッド層8の厚みが薄い二つの部分は、当該半導体レーザの動作時においても電流が注入されない電流非注入領域8aおよび8bである。

【0100】n型GaAs電流ブロック層11とその間から露出したp型GaAsキャップ層9の上には、p型GaAsコンタクト層12が形成され、その上にはさらにTiPtAuよりなるp側電極13が形成されている。n型GaAs基板1の裏面（下面）には、AuGeNiよりなるn側電極14が形成されている。

【0101】半導体リッジ構造20に沿って延在する光導波路40は、図13に明瞭に示すように、その中心軸に対して左右対称の平面形状を有しており、相対的に狭い幅Waを持つストレート部（基本モード導波路）40aと、相対的に広い幅Wbを持つストレート部（多モード導波路）40cと、それら二つのストレート部40aと40cを接続するテーパー部40bとから形成されている。ストレート部40aの一端（図13では左端）は、当該半導体レーザの後端面32に接続されている。ストレート部40cの一端（図13では右端）は、当該半導体レーザの前端面つまり出射端面31に接続されている。これらの点は、第1実施形態の場合と同じである。

【0102】このように、第2実施形態の半導体レーザでは、光導波路40の前端面31と後端面32の近傍にそれらに接触して、二つの電流非注入領域8aと8bをそれぞれ形成している。

【0103】次に、図14～図19を参照しながら、上記構成を持つ本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法について説明する。

【0104】まず最初に、第1実施形態の半導体レーザの場合と同様にして、n型GaAs基板1の表面に、図14に示すように、n型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ クラッド層2、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 光閉じ込め層3、二重量子井戸活性層4、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 光閉じ込め層5、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第1クラッド層6、p型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ エッチング停止層7、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8、p型GaAsキャップ層9を順に積層・形成する。

【0105】次に、p型GaAsキャップ層9の上に、誘電体膜（例えば $\text{SiO}_2$ 膜）を形成した後、公知のフ

電体膜を選択的にエッチングし、図15に示すような形状にパターン化する。こうして、p型GaAsキャップ層9の上に、キャップ層9をエッチングするための誘電体マスク21Aを形成する。誘電体マスク21Aのパターンは、光導波路40の平面形状にほぼ合致する。

【0106】第1実施形態の場合と同様に、誘電体マスク21Aは、例えば、幅が $3.5\mu\text{m}$ （均一）で長さが $400\mu\text{m}$ のストライプ状遮光領域21Aaと、幅が $3.5\mu\text{m}$ ～ $5\mu\text{m}$ まで変化すると共に長さが $200\mu\text{m}$ のテーパー状遮光領域21Abと、幅が $5\mu\text{m}$ （均一）で長さが $200\mu\text{m}$ のストライプ状遮光領域21Acとを有している。

【0107】その後、誘電体マスク21Aを用いて、p型GaAsキャップ層9を選択的にエッチング除去し、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8を露出させる。

【0108】次に、誘電体マスク21Aを部分的にエッチングし、光導波路40の二つの電流非注入領域8a、8bとなるべき箇所、つまりストライプ状遮光領域21Aaの全体と、ストライプ状遮光領域21Acの端面31側の端部とを選択的に除去する。こうして、図16に示すような誘電体マスク21を得る。誘電体マスク21は、誘電体マスク21Aのストライプ状遮光領域21Aaの全体とストライプ状遮光領域21Acの端面31側の端部に対応する箇所において、キャップ層9を露出させるものである。誘電体マスク21は、図16に示すように、テーパー状遮光領域21bとストライプ状遮光領域21cから形成される。

【0109】こうして得た誘電体マスク21を用いて、2箇所にストライプ状に残されているp型GaAsキャップ層9と、未だエッチングされていないp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8とを選択的にエッチングする。その結果、図17に示すようなメサ型のリッジ構造20が得られる。

【0110】こうして得られるリッジ構造20は、誘電体マスク21とその両側のストライプ状の残存p型GaAsキャップ層9の形状を反映して、テーパー状領域20bとストライプ状領域20aおよび20cとを有している。

【0111】図17の状態では、残存p型GaAsキャップ層9に対応する二つの箇所に、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8が例えば厚さ約 $200\text{nm}$ ほど残存しているので、これら二つの部分が第2クラッド層8の電流非注入領域8aおよび8bとなる。電流非注入領域8aおよび8bは、いずれもリッジ構造20の内部の第2クラッド層8と連続しているため、電流非注入領域8aおよび8bが形成する光導波路40の部分と、リッジ構造20の内部の第2クラッド層8が形成する光導波路40の部分とが、光学的にほぼ無損失で結合される。

(図1) 103-101139 (P2003-101139A)

0の部分(基本モード導波路)40aでは、電流非注入領域8aの長さをその部分40aの全長に等しくしているが、導波損失を低減するためにそれより短くしてもよいことは言うまでもない。また、導波損失を考慮して、電流非注入領域8bの長さは、電流非注入領域8bが形成する光導波路40の部分(多モード導波路)40cの長さよりも短くしている。

【0113】その後、誘電体マスク21を残したまま、エッチング停止層7上に、n型AlGaAs電流ブロック層10とn型GaAs電流ブロック層11とを順に選択的に成長させ、図18に示すように、リッジ構造20の両側に生じた空間と電流非注入領域8aおよび8bの上方の空間とを埋め込む。電流ブロック層10の上面は、残存している第2クラッド層8の上面とほぼ同じ高さになるように調整する。したがって、電流ブロック層11は第2クラッド層8の上面より上方に位置する。

【0114】次に、誘電体マスク21を除去した後、n型GaAs電流ブロック層11とその間から露出したp型GaAsキャップ層9の上に、p型GaAsコンタクト層12を成長させ、図19に示す構成を得る。この時、コンタクト層12が、露出していたp型GaAsキャップ層9の上も覆うようにする。コンタクト層12は、基板1の全表面にわたって形成する。

【0115】その後、第1実施形態の場合と同様にして、図9～図13に示す構成の半導体レーザが得られる。

【0116】以上述べたように、本発明の第2実施形態の半導体レーザは、第1実施形態の半導体レーザにおいて、光導波路40の広い幅Wcのストレート部(多モード導波路)40cに電流非注入領域8bを追加してものであるから、第1実施形態の場合と同じ効果が得られる。

【0117】また、二つの電流非注入領域8aと8bによって電流注入を抑制するため、第1実施形態よりも、基本モード導波路40aにおけるビーム・ステアリングの発生がいっそう効果的に抑制される。その結果、当該半導体レーザの最大基本モード出力をいっそう向上させることができる。

【0118】さらに、第2クラッド層8の両端に電流非注入部8aと8bが形成されているため、当該半導体レーザの前後面端面31と32における熱の発生が抑制される。その結果、出射端面31で光学ミラー損傷(COD、COMD)が発生する可能性が、第1実施形態の半導体レーザよりも低下し、高出力特性と共に出射端面31の信頼性を向上させることができる、という効果が得られる。

【0119】(第3実施形態)図20～図23は、本発明の第3実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ(980nm帯)の構成を示す。

ける電流非注入領域8aに代えて、第2クラッド層8に電流非注入領域8cを形成している。この電流注入抑制領域8cは、p型GaAsコンタクト層12上に形成された電流注入抑制マスク17により実現されているものであり、第1および第2の実施形態のような第2クラッド層8それ自体の形状変化は利用していない。

【0121】上記以外の構成は第1実施形態と同じであるから、第1実施形態の半導体レーザと同一の構成については、第1実施形態と同じ符号を付してその説明を省略する。

【0122】第3実施形態の半導体レーザでは、第1実施形態の半導体レーザでp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層8に形成されている窪みが省略されており、第2クラッド層8の厚さはリッジ構造20(つまり光導波路40)の全長にわたって同一である。電流ブロック層10と11は、リッジ構造20の両側のみに存在する。

【0123】半導体リッジ構造20に沿って延在する光導波路40は、図23に明瞭に示すように、その中心軸に対して左右対称の平面形状を有しており、相対的に狭い幅Waを持つストレート部(基本モード光導波路)40aと、相対的に広い幅Wbを持つストレート部(多モード光導波路)40cと、それら二つのストレート部40aと40cを接続するテーパー部40bとから形成されている。

【0124】電流注入抑制マスク17は、p型GaAsコンタクト層12上に形成されており、図23に明瞭に示すように、光導波路40の狭い幅Waを持つストレート部(基本モード導波路)40aとびつたりと重なるように配置されている。電流注入抑制マスク17は、多数の透孔を有する誘電体層(例えばSiO<sub>2</sub>層)により形成されており、その全体はp側電極13によって覆われている。動作時にp側電極13を通過して当該半導体レーザの内部に流入する電流は、電流注入抑制マスク17によって抑制されるため、第2クラッド層8のストレート部40aに対応する箇所にはほとんど到達できない。したがって、この箇所には実質的に電流が注入されない。この電流が注入されない箇所が電流非注入領域8cである。このように、電流非注入領域8cは、電流注入抑制マスク17の作用によって結果的に第2クラッド層8に形成されるものである。

【0125】電流非注入領域8cにより、この第3実施形態においても第1実施形態と同じ効果が得られる。

【0126】なお、符号51は、半導体レーザのp側電極13において、電流注入が抑制される範囲を示す。

【0127】次に、上記構成を持つ本発明の第3実施形態の半導体レーザの製造方法について説明する。

【0128】第1実施形態の半導体レーザの場合と同様にして、n型GaAs基板1の表面に、n型Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>Asクラッド層2、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光閉

(42) 03-101139 (P2003-101139A)

0.9As光閉じ込め層5、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第1クラッド層6、p型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ エッチング停止層7、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8、p型GaAsキャップ層9を順に積層・形成する。

【0129】次に、p型GaAsキャップ層9の上に、誘電体膜（例えば $\text{SiO}_2$ 膜）を形成した後、公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いてその誘電体膜を選択的にエッチングし、図15に示すような形状にパターン化する。こうして、p型GaAsキャップ層9の上に、誘電体マスク21Aを形成する。誘電体マスク21Aのパターンは、光導波路40の平面形状にほぼ合致する。

【0130】第1実施形態の場合と同様に、誘電体マスク21Aは、例えば、幅が3.5 $\mu\text{m}$ （均一）で長さが400 $\mu\text{m}$ のストライプ状遮光領域21Aaと、幅が3.5 $\mu\text{m}$ ～5 $\mu\text{m}$ まで変化すると共に長さが200 $\mu\text{m}$ のテーパー状遮光領域21Abと、幅が5 $\mu\text{m}$ （均一）で長さが200 $\mu\text{m}$ のストライプ状遮光領域21Acとを有している。

【0131】その後、誘電体マスク21Aを用いて、p型GaAsキャップ層9とp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8を選択的にエッチングし、メサ型のリッジ構造20を得る。こうして得られるリッジ構造20は、誘電体マスク21Aの形状をそのまま反映して、テーパー状領域20bとストライプ状領域20aおよび20cとを有している。この時の状態では、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8の厚さは、その全長にわたって一定であるその後、誘電体マスク21Aを残したまま、エッチング停止層7上に、n型 $\text{AlGaAs}$ 電流ブロック層10とn型GaAs電流ブロック層11とを順に選択的に成長させることにより、リッジ構造20の両側に生じた空間を埋め込む。

【0132】誘電体マスク21Aを除去した後、n型GaAs電流ブロック層11とその間から露出したp型GaAsキャップ層9の上に、p型GaAsコンタクト層12を成長させる。その後、コンタクト層12上に例えば $\text{SiO}_2$ 層を形成してパターン化し、図23に示す形状で多数の透孔を持つ電流注入抑制マスク17とする。

【0133】次に、その上にp側電極13を形成して、電流注入抑制マスク17の全体を覆ってしまう。その後の工程は、第1実施形態の場合と同様である。こうして、第3実施形態の半導体レーザが得られる。

【0134】以上述べたように、本発明の第3実施形態の半導体レーザでは、光導波路40の狭い幅Waのストレート部（基本導波路）40aに電流非注入領域8cが形成されているため、第1実施形態の場合と同じ効果が得られる。

【0135】また、誘電体マスク21Aをエッチングして誘電体マスク21を形成する工程が不要なため、第1

ある。

【0136】なお、第3実施形態の半導体レーザにおいて、上記第1実施形態で使用された電流非注入領域8aを追加してもよいし、上記第2実施形態で使用された電流非注入領域8aと8bを追加してもよい。

【0137】（第4実施形態）図24～図27は、本発明の第4実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ（980nm帯）の構成を示す。この半導体レーザは、第1実施形態において、第2クラッド層8の電流非注入領域8aを含む部分にドーパント・イオンを注入することにより、イオン注入部18を追加形成したものである。したがって、ドーパント・イオンを含む電流非注入領域8aを、符号「8d」で示している。

【0138】所定のドーパント・イオンを含むイオン注入部18は、電流非注入領域8dの全体と活性層4の一部を包含している。イオン注入部18の内部では、ドーパント・イオンにより、イオン注入部18の外部に比べて活性層4のバンドギャップ（禁制帯幅）が拡大されている。その結果、イオン注入部18の内部にある活性層4の部分が非活性となっている。換言すれば、イオン注入部18の内部では、導波路40は、レーザ光に対して利得を持たない受動導波路となっているのである。

【0139】イオン注入部18は、図27に示すように、光導波路40の狭い幅Waを持つストレート部（基本モード導波路）40aとびつたりと重なりと共に、後端面32に接触するように配置されている。図27において、符号52はイオン注入を行う範囲を示している。

【0140】第4実施形態の半導体レーザでは、電流非注入領域8dに加えてイオン注入部18を設けているが、電流非注入領域8aを省略してイオン注入部18だけにしても、同様の効果が得られる。それは、イオン注入部18の内部にある活性層4の部分が非活性となっているため、電流非注入領域8aがなくても、ストレート部（基本モード導波路）40aへの電流注入を禁止あるいは抑制したのと同様の作用が得られるからである。

【0141】次に、上記構成を持つ本発明の第4実施形態の半導体レーザの製造方法について説明する。

【0142】電流非注入領域8aを形成する（図6参照）までの工程は、第1実施形態の半導体レーザの場合と同時である。図6に示す状態では、残存p型GaAsキャップ層9に対応する箇所に、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2クラッド層8が例えば厚さ約200nmほど残存し、この部分が第2クラッド層8の電流非注入領域8dとなる。

【0143】次に、公知の方法により、SiやZnあるいは他のドーパント元素を、電流非注入領域8dを含む所定の領域52に選択的にイオン注入する。そして、適当な温度でアニールを行う。これらの工程は公知であるから、それらの詳細は省略する。その結果、ドーパント

(電 3) 103-101139 (P2003-101139A)

入され、活性層4の禁制帯幅(バンドギャップ)を拡大する。

【0144】続いて、誘電体マスク21を残したまま、エッチング停止層7上に、n型AlGaAs電流ブロック層10とn型GaAs電流ブロック層11とを順に選択的に成長させることにより、リッジ構造20の両側に生じた空間を埋め込む。

【0145】誘電体マスク21を除去した後、p型GaAsコンタクト層12を形成する。その後の工程は第1実施形態と同じである。こうして、第4実施形態の半導体レーザが得られる。

【0146】以上述べたように、本発明の第4実施形態の半導体レーザでは、光導波路40の基本モード導波路40aに、当該半導体レーザに供給される電流が活性層4へ注入されるのを禁止する電流非注入領域8dが形成されていると共に、活性層4の禁制帯幅(バンドギャップ)が拡大されているので、第1実施形態で得られる効果がいっそう高められる、という利点がある。

【0147】また、電流非注入領域8dを省略してイオン注入部18のみにしても、第1実施形態とほぼ同等の効果が得られる。

【0148】なお、第4実施形態の半導体レーザでは、上記第1実施形態で使用された電流非注入領域8aを使用しているが、それに代えて、上記第2実施形態で使用された電流非注入領域8aと8bを使用してもよい。

【0149】(第5実施形態)図28は、本発明の第5実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ(980nm帯)を示している。これは光導波路40の一つの変形例を示すものであり、上述した第1～第4の実施形態に適用可能である。

【0150】この半導体レーザでは、光導波路40の平面形状は、第1実施形態のそれと同じであるが、電流非注入領域8aが、光導波路40の狭い幅Waを持つストレート部(基本モード導波路)40aの全体だけでなく、テーパー部40bの約1/2にまで延在している点が、第1実施形態とは異なる。

【0151】この半導体レーザでは、第1実施形態に比べて、より高いレベルの注入電流密度までビーム・ステアリングの発生を抑制することができる。その結果、当該半導体レーザの最大基本モード出力を、第1実施形態よりも向上させることができる。

【0152】なお、電流非注入領域8aは、ストレート部40aの全体と、テーパー部40bの全体にまで延在していてもよい。

【0153】(第6実施形態)図29は、本発明の第6実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ(980nm帯)を示している。これも光導波路40の変形例を示すものであり、上述した第1～第4の実施形態に適用可能である。

な耐久力をいっそう高くするために、幅Waを持つストレート部(基本モード導波路)40aを光共振器の中間位置に配置したものである。電流非注入領域8aは、ストレート部40aの全体にわたって形成されている。

【0155】この半導体レーザでは、光導波路40の平面形状が第1～第4実施形態のそれとは異なっており、幅Waよりも広い幅Wc1とWc2を持つ二つのストレート部(多モード光導波路)40c1と40c2が、ストレート部(基本モード導波路)40aの両側に配置されており、二つのテーパー部40b1と40b2によってストレート部40aにそれぞれ接続されている。幅Waよりも広ければ、幅Wc1とWc2は等しくてもよいし異なってもよい。

【0156】なお、電流非注入領域8aは、ストレート部(基本モード導波路)40aの一部にのみ存在していてもよいし、テーパー部40b1と40b2の少なくとも一方まで及んでいてもよいし、テーパー部40b1または40b2の全部に延在していてもよい。

【0157】(第7実施形態)図30は、本発明の第7実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ(980nm帯)を示している。これも光導波路40の変形例を示すものであり、上述した第1～第4の実施形態に適用可能である。

【0158】この半導体レーザでは、光導波路40の平面形状がその中心線に対して非対称になっている点以外は、第1実施形態のそれと同じである。

【0159】このように、光導波路40の平面形状は、共振器方向に対して必ずしも対称でなくともよい。

【0160】(第8実施形態)図31は、本発明の第8実施形態の端面発光型高出力半導体レーザ(980nm帯)を示している。これも光導波路40の変形例を示すものであり、上述した第1～第4の実施形態に適用可能である。

【0161】この半導体レーザでは、光導波路40の全体の平面形状がテーパー状になっている点以外は、第1実施形態のそれと同じ構成である。すなわち、光導波路40は、「基本モード導波路」として機能する幅Waを持つテーパー部40aと、「多モード導波路」として機能する幅Waを持つテーパー部40cとから形成されており、両テーパー部40aと40cは直接、結合されている。

【0162】電流非注入領域8aは、「基本モード導波路」として機能するテーパー部40aの全体に形成されている。しかし、必要に応じて、電流非注入領域8aの長さは適宜変更可能である。

【0163】この半導体レーザでは、第1実施形態に比べて、モード変換がより円滑に行われる、という利点がある。

【0164】(第9実施形態)図33は、本発明の第9実施形態の半導体レーザ・モジュールの構成を示す。こ

(図4) 103-101139 (P2003-101139A)

施形態のいずれかの端面発光型半導体レーザを使用したものであり、その半導体レーザを円柱レンズ・ファイバと直接接合したものである。この半導体レーザ・モジュールは、14ピンのバタフライ・パッケージを有している。

【0165】図33において、第1〜第8実施形態のいずれかの半導体レーザと同じ構成を持つ半導体レーザ素子101は、高熱伝導材料を金属膜で覆ってなるヒートシンク102上にハンダを用いて固着されている。このヒートシンク102は、パワー・モニター用のフォトダイオード・ユニット104、温度モニタ用のサーミスタ105、サージ対策用のESD素子106と共に、ハンダを用いてサブマウント103上に固着されている。ESD素子106は、半導体レーザ素子101に逆方向のサージ電圧が作用した時に電流をバイパスしてその素子101を保護するものである。

【0166】バタフライ・パッケージのベース111の内部には、熱電変換素子がハンダを用いて固着されている。サブマウント103は、その熱電変換素子の上部にハンダを用いて固着されている。各素子の電極は、Au線を用いたワイヤ・ボンディング法によって、サブマウント103上の配線と接続されている。サブマウント103上の配線は、同様に、パッケージ絶縁セラミック114を介してパッケージ電極115と接続されている。

【0167】円柱レンズ・ファイバ107は、端部に結合用レンズ（図示せず）を一体形成したシングルモード光ファイバであり、第1および第2のフェルール108と109を用いてパッケージに固定されている。ファイバ107の一端は、パッケージの内部で半導体レーザ素子101に光学的に結合されている。

【0168】この半導体レーザ・モジュールを組み立てる際には、まず半導体レーザ素子101を発振させておき、円柱レンズ光ファイバ107の遠端でレーザ光出力をモニターしながら、そのファイバ107の近端を半導体レーザ素子101の発光点に近づけることにより、モニターしているレーザ光出力が最適となるように調整しつつ固定金具110、サブマウント103、第1フェルール108の順に固着する。この固着作業はレーザ溶接により行う。その後、適当なハンダを用いて第2フェルール109とパッケージ・バイア113を気密封止する。最後に、抵抗溶接により、パッケージ・フレーム112に上蓋（図示せず）を固着する。こうして、図33に示すモジュールが完成する。

【0169】なお、第9実施形態の半導体レーザ・モジュールでは、端部に結合用レンズを一体形成した円柱レンズ・ファイバ107を使用しているが、結合用レンズを一体形成していない通常の光ファイバを使用することも可能である。この場合には、半導体レーザ素子101

当なレンズ系（1個あるいは複数個のレンズから構成される）を配置し、そのレンズ系を用いて半導体レーザ素子101の出力光を光ファイバの内部に導入する。この場合にも、光ファイバの一端にレンズ加工を施したものを使用してよい。

【0170】（変形例）上記の第1〜第9実施形態は、本発明を具体化した例を示すものであり、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではない。本発明の趣旨を外れることなく種々の変形が可能であることは言うまでもない。

【0171】例えば、上述した実施形態では、発振波長が980nm帯の半導体レーザについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、他の発振波長（例えば1480nm帯）の半導体レーザに対しても適用可能であることは言うまでもない。

【0172】また、前記電流注入抑制手段としては、基本モード導波路の少なくとも一部において活性層への電流注入を抑制することができるものであれば、上記実施形態以外のものも使用可能である。

【0173】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の半導体レーザと半導体レーザ・モジュールによれば、ビーム・ステアリングの発生を効果的に抑制することができると共に、簡単な構成で最大出力を向上させることができる。しかも出力光と外部の光学系との結合効率の低下を防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の半導体レーザの構成を示す垂直縦断面図である。

【図2】図1のA-A線に沿った垂直横断面図である。

【図3】図1のB-B線に沿った垂直横断面図である。

【図4】図1のC-C線に沿った水平断面図である。

【図5】本発明の第1実施形態の半導体レーザの製造方法を示すA-A線断面図と平面図である。

【図6】本発明の第1実施形態の半導体レーザの製造方法を示すA-A線断面図と平面図と共振器に沿った縦断面図で、図5の続きである。

【図7】本発明の第1実施形態の半導体レーザの製造方法を示すA-A線断面図と平面図で、図6の続きである。

【図8】本発明の第1実施形態の半導体レーザの製造方法を示すA-A線断面図と平面図で、図7の続きである。

【図9】本発明の第2実施形態の半導体レーザの構成を示す垂直縦断面図である。

【図10】図9のD-D線に沿った垂直横断面図である。

【図11】図9のE-E線に沿った垂直横断面図である。

(図5) 103-101139 (P2003-101139A)

る。

【図13】図9のG-G線に沿った水平断面図である。

【図14】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図と平面図である。

【図15】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図と平面図で、図14の続きである。

【図16】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図および平面図で、図15の続きである。

【図17】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図および平面図で、図16の続きである。

【図18】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図および平面図で、図17の続きである。

【図19】本発明の第2実施形態の半導体レーザの製造方法を示す垂直縦断面図および平面図で、図18の続きである。

【図20】本発明の第3実施形態の半導体レーザの構成を示す垂直縦断面図である。

【図21】図20のH-H線に沿った垂直横断面図である。

【図22】図20のI-I線に沿った垂直横断面図である。

【図23】図20のJ-J線に沿った水平断面図である。

【図24】本発明の第4実施形態の半導体レーザの構成を示す垂直縦断面図である。

【図25】図24のK-K線に沿った垂直横断面図である。

【図26】図24のL-L線に沿った垂直横断面図である。

【図27】図24のM-M線に沿った水平横断面図である。

【図28】本発明の第5実施形態の半導体レーザの構成を示す、図1のC-C線に沿った平面図である。

【図29】本発明の第6実施形態の半導体レーザの構成を示す、図1のC-C線に沿った平面図である。

【図30】本発明の第7実施形態の半導体レーザの構成を示す、図1のC-C線に沿った平面図である。

【図31】本発明の第8実施形態の半導体レーザの構成を示す、図1のC-C線に沿った平面図である。

【図32】本発明の第1実施形態の半導体レーザと従来の半導体レーザについて、注入電流と光出力との関係を示すグラフである。

【図33】本発明の第9実施形態の半導体レーザ・モジ

ュールの構成を示す平面説明図である。

【図34】一般的な半導体レーザの導波路において、光導波路の幅Wと屈折率差 $\Delta n$ によって伝搬される光のモードが変化する様子を示すグラフである。

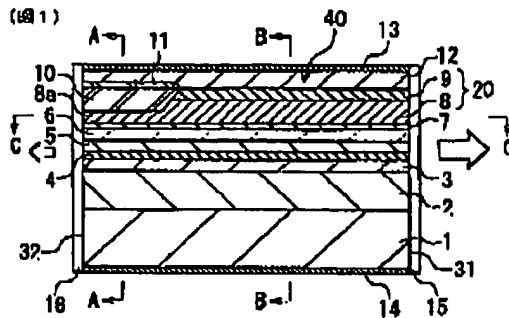
【図35】一般的な半導体レーザにおいて、光導波路の幅Wと水平スポットサイズの半値幅の関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 n-GaAs 基板
- 2 n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As クラッド層
- 3 n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光閉じ込め層
- 4 i型In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As/GaAs 二重量子井戸活性層
- 5 p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光閉じ込め層
- 6 p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第1クラッド層
- 7 p型Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As エッチング停止層
- 8 p型Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As 第2クラッド層
- 9 p型GaAs キャップ層
- 10 n型AlGaAs 電流ブロック層
- 11 n型GaAs 電流ブロック層
- 12 p型GaAs コンタクト層
- 13 TiPtAu p側電極
- 14 AuGeNi n側電極
- 15 反射防止 (AR) 膜
- 16 高反射 (HR) 膜
- 17 電流注入マスク
- 18 イオン注入部
- 20 リッジ構造
- 21、21A 誘電体マスク
- 51 電流注入抑制範囲
- 52 イオン注入範囲
- 101 半導体レーザ素子
- 102 ヒートシンク
- 103 サブマウント
- 104 フォトダイオード・ユニット
- 105 サーミスタ
- 106 ESD素子
- 107 円柱レンズ光ファイバ
- 108 第1フェルール
- 109 第2フェルール
- 110 固定金具
- 111 パッケージ・ベース
- 112 パッケージ・フレーム
- 113 パッケージ・パイプ
- 114 絶縁セラミック
- 115 パッケージ電極

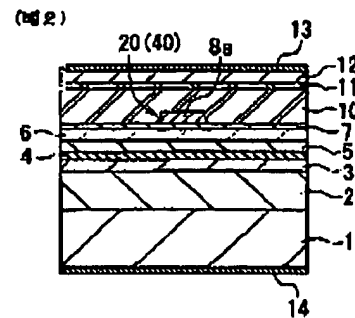
(図6) 103-101139 (P2003-101139A)

【図1】



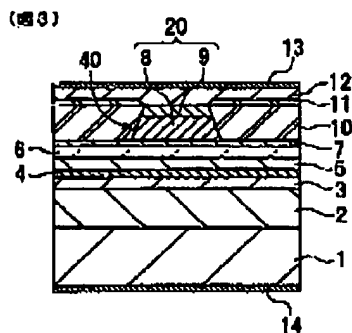
- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: i-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8a: 電流非注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAuパッド電極
- 14: AuGeNiパッド電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>AR膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/e-Si HR膜
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図2】



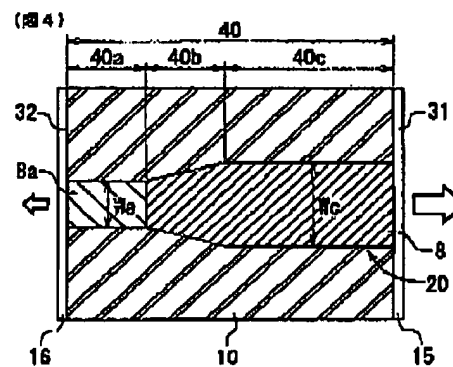
- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: i-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: 電流非注入領域
- 8a: 電流非注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAuパッド電極
- 14: AuGeNiパッド電極
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図3】



- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: i-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8a: 電流非注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAuパッド電極
- 14: AuGeNiパッド電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>AR膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/e-Si HR膜
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図4】

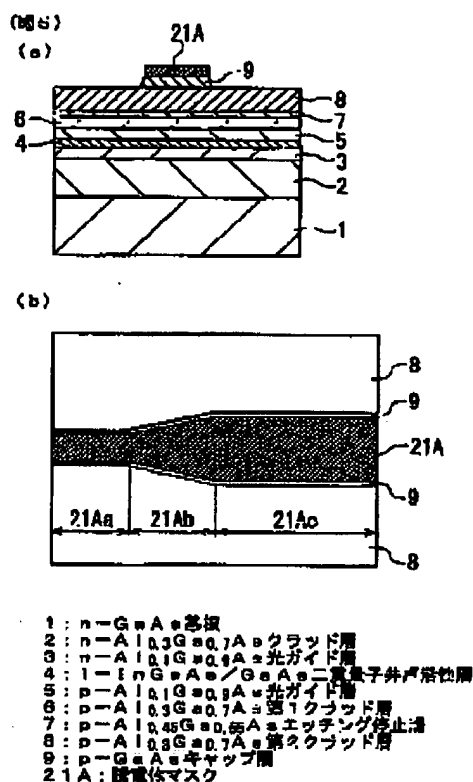


- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8a: 電流非注入領域
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAuパッド電極
- 14: AuGeNiパッド電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>AR膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/e-Si HR膜
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

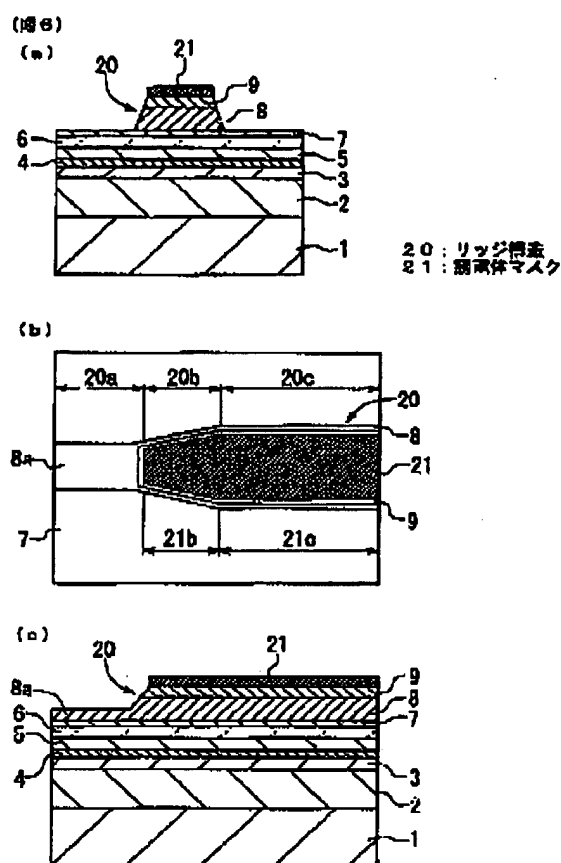


(株) 103-101139 (P2003-101139A)

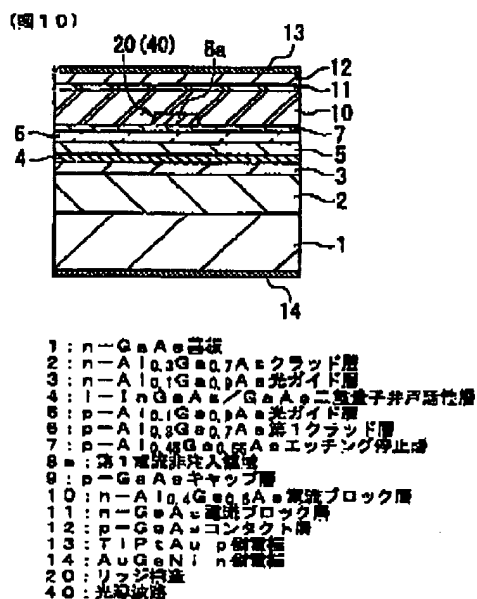
【図5】



【図6】



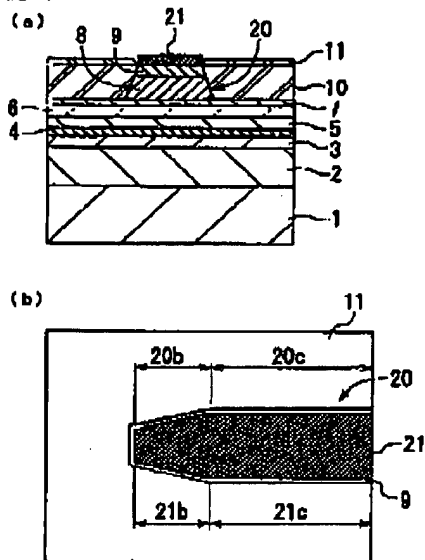
【図10】



(08) 03-101139 (P2003-101139A)

【図7】

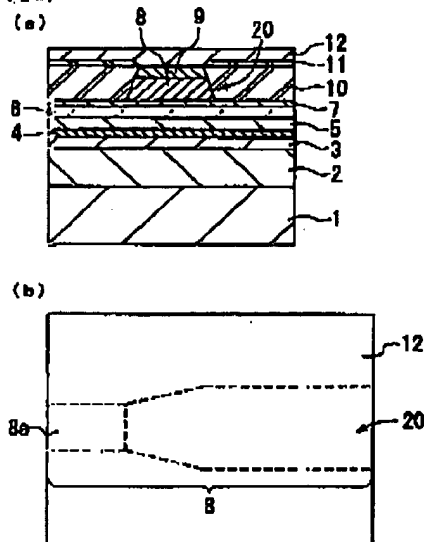
(図7)



10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 21: 誘電体マスク

【図8】

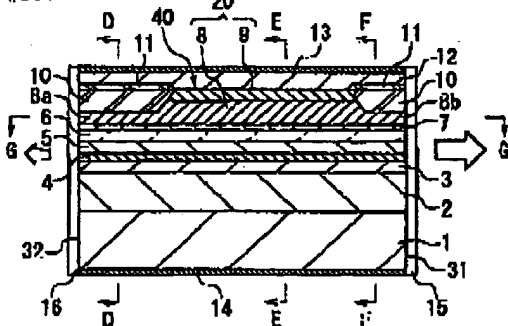
(図8)



8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 電流非注入領域  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 20: リッジ構造

【図9】

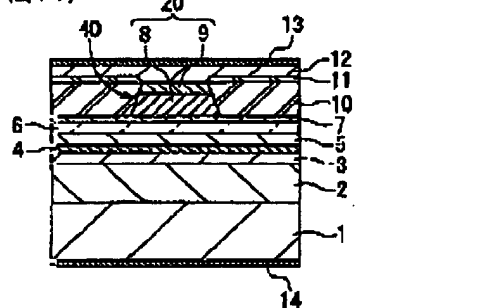
(図9)



1: n-GaAs 基板  
 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As クラッド層  
 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層  
 4: I-InGaAs/GaAs 二重量子井戸活性層  
 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層  
 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第1クラッド層  
 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As エッチング停止層  
 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 第1電流非注入領域  
 8b: 第2電流非注入領域  
 9: p-GaAs キャップ層  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 13: TiPtAu p側電極  
 14: AuGeNi n側電極  
 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si-81 HR膜  
 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si-81 HR膜  
 20: リッジ構造  
 40: 光口波路

【図11】

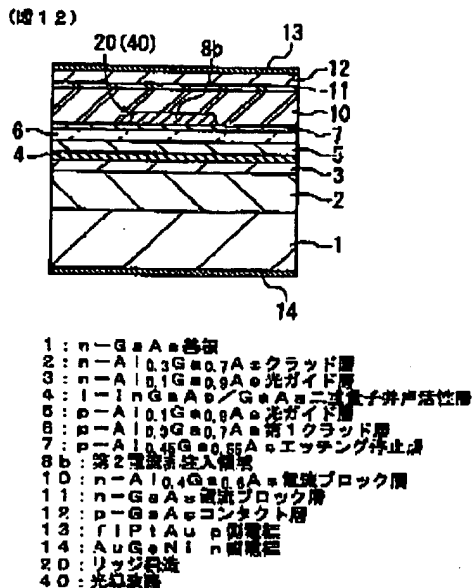
(図11)



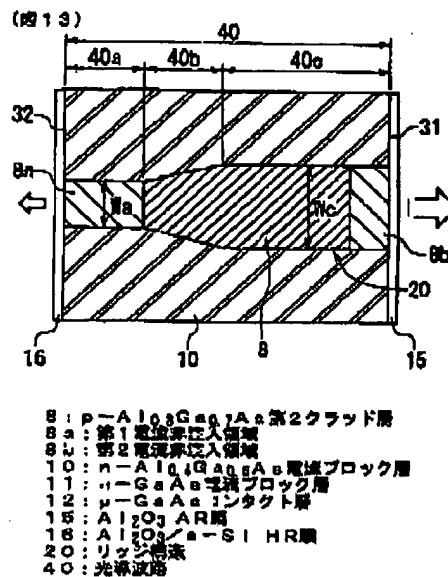
1: n-GaAs 基板  
 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As クラッド層  
 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層  
 4: I-InGaAs/GaAs 二重量子井戸活性層  
 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層  
 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第1クラッド層  
 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As エッチング停止層  
 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 9: p-GaAs キャップ層  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 13: TiPtAu p側電極  
 14: AuGeNi n側電極  
 20: リッジ構造  
 40: 光口波路

(図9) 103-101139 (P2003-101139A)

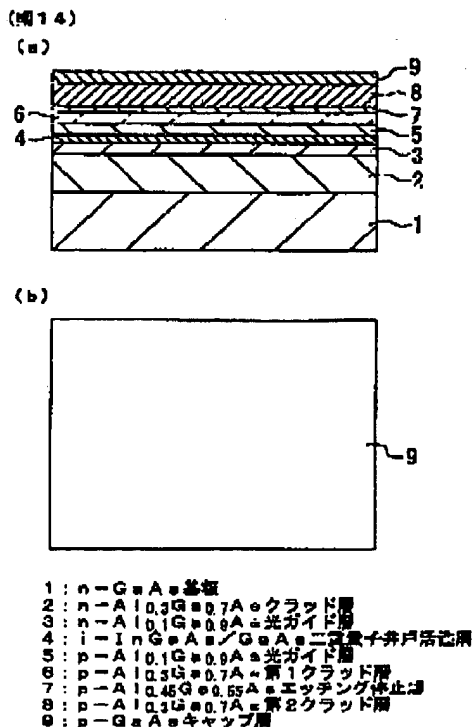
【図12】



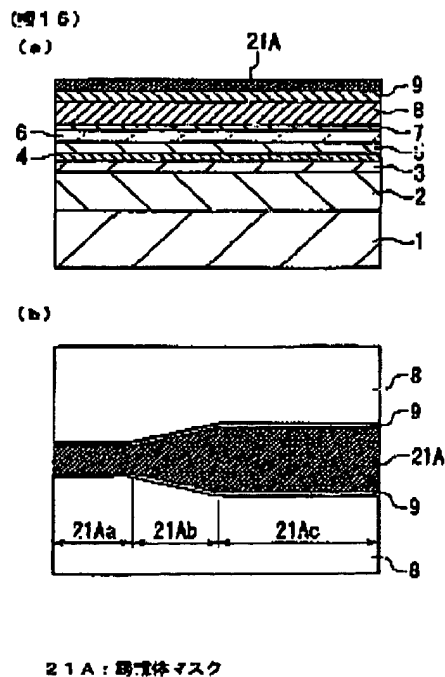
【図13】



【図14】

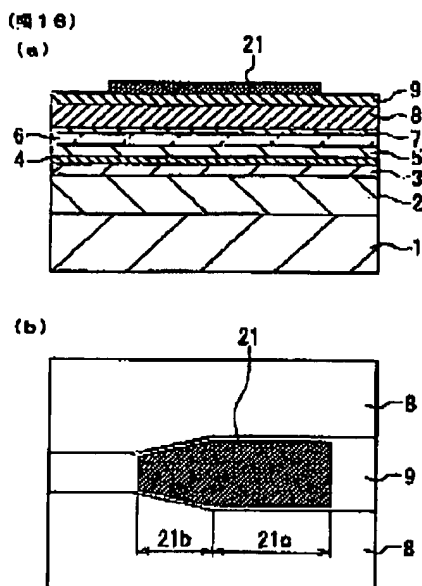


【図15】



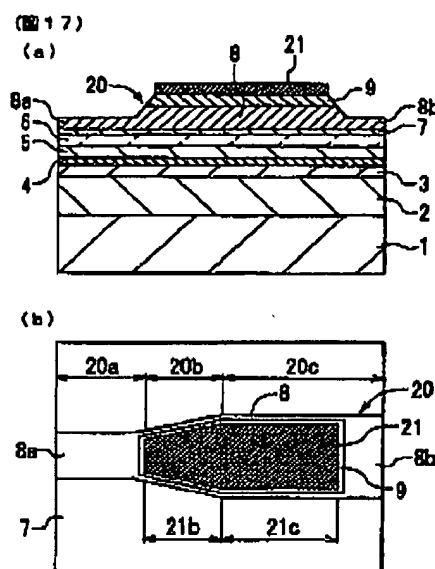
(20) 03-101139 (P2003-101139A)

【図16】



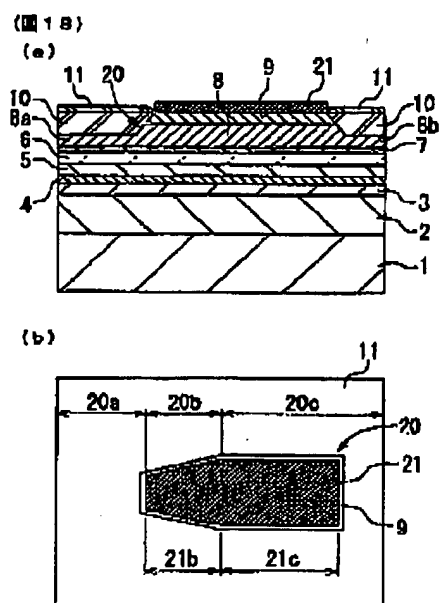
21: 絶電体マスク

【図17】



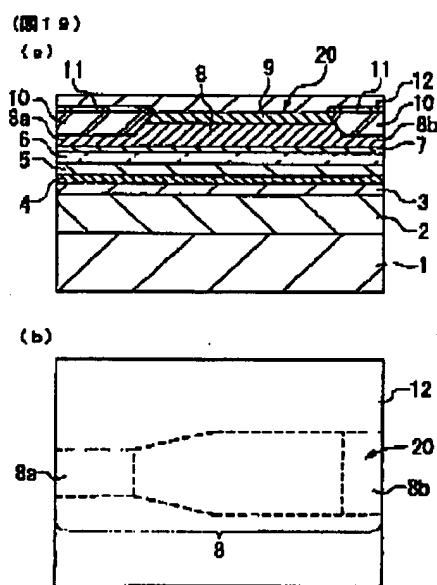
8a: 第1電流非注入領域  
 8b: 第2電流非注入領域  
 20: リッジ構造

【図18】



10: n-Al<sub>0.1</sub>G<sub>0.9</sub>As電流ブロック層  
 11: n-GaAs電流ブロック層  
 20: リッジ構造

【図19】

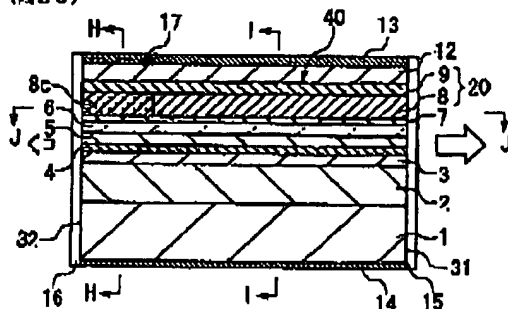


8: p-Al<sub>0.3</sub>G<sub>0.7</sub>As第2クラッド層  
 8a: 第1電流非注入領域  
 8b: 第2電流非注入領域  
 12: p-GaAsコンタクト層  
 20: リッジ構造

(特1) 03-101139 (P2003-101139A)

【図20】

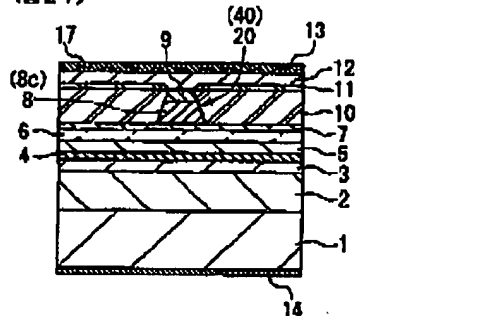
(図20)



- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: I-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8c: 電流注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: p-GaAsコンタクト層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAu p側電極
- 14: AuGeNi n側電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜
- 17: 電流注入抑制マスク
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図21】

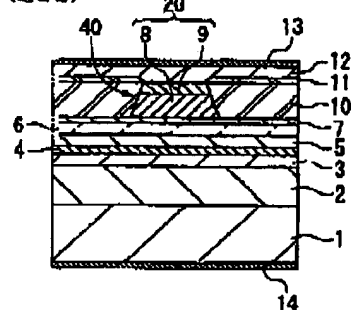
(図21)



- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: I-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8c: 電流注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAu p側電極
- 14: AuGeNi n側電極
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図22】

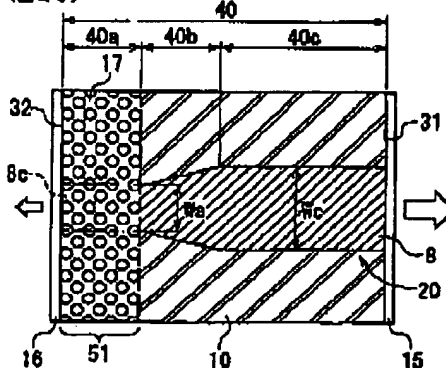
(図22)



- 1: n-GaAs基板
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asクラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 4: I-InGaAs/GaAs二重量子井戸活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>Asエッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8c: 電流注入領域
- 9: p-GaAsキャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 13: TiPtAu p側電極
- 14: AuGeNi n側電極
- 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜
- 17: 電流注入抑制マスク
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路

【図23】

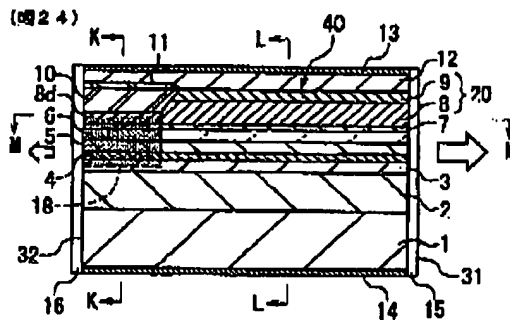
(図23)



- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As第2クラッド層
- 8c: 電流注入領域
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As電流ブロック層
- 11: n-GaAs電流ブロック層
- 12: p-GaAsコンタクト層
- 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR膜
- 18: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜
- 17: 電流注入抑制マスク
- 20: リッジ構造
- 40: 光導波路
- 51: 電流注入抑制物

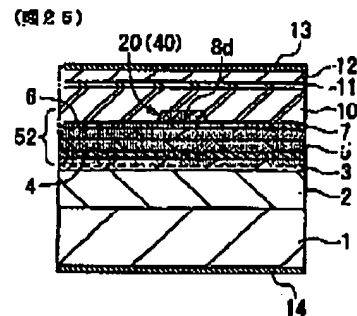
(22) 103-101139 (P2003-101139A)

【圖24】



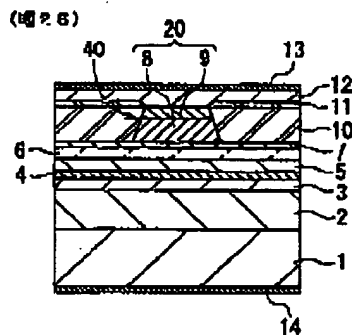
- |    |   |    |      |      |         |
|----|---|----|------|------|---------|
| 1  | n | -G | A    | 基極   |         |
| 2  | n | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 3  | n | -I | 1G   | 0.8A | 光ガイド層   |
| 4  | p | -I | 1G   | 0.8A | 電子井戸形成層 |
| 5  | p | -I | 1G   | 0.8A | 光ガイド層   |
| 6  | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 7  | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 8  | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 9  | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 10 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 11 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 12 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 13 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 14 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 15 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 16 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 17 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 18 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 19 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 20 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 21 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 22 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 23 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 24 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 25 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 26 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 27 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 28 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 29 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 30 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 31 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 32 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 33 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 34 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 35 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 36 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 37 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 38 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 39 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |
| 40 | p | -A | 0.3G | 0.7A | クラッド層   |

【圖25】



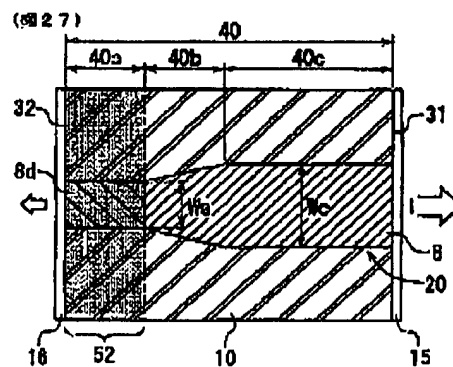
- 1: n-G A 基板
- 2: n-A i,q,G 0,7 A クラッド層
- 3: n-A i,q,G 0,9 A 光ガイド層
- 4: i-In G 0,9 / G A ニコ量子井特性層
- 5: p-A i,q,G 0,9 A 光ガイド層
- 6: p-A i,q,G 0,7 A 第1クラッド層
- 7: p-A i,q,G 0,5 A エッチング停止層
- 8: 電流非注入領域
- 9: p-G A cキヤップ層
- 10: n-A i,q,G 0,9 A 電流ブロック層
- 11: n-G A 電流ブロック層
- 12: p-G A コンタクト層
- 13: T i P t A u p 側電極
- 14: A u G N i n 側電極
- 20: リンダ材迄
- 40: 光導波路

【图26】



- 1: n-GaAs 砒化ガリウム
- 2: n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As クラッド層
- 3: n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層
- 4: i-InGaAs / GaAs 二重量子井戸型活性層
- 5: p-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 光ガイド層
- 6: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第1クラッド層
- 7: p-Al<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.52</sub>As エッチング停止層
- 8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層
- 9: p-GaAs チャップ層
- 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層
- 11: n-GaAs 電流ブロック層
- 12: p-GaAs コンタクト層
- 13: TiPtAu p-側電極
- 14: AuGeNi n-側電極
- 20: リン酸塩
- 40: 光導波路

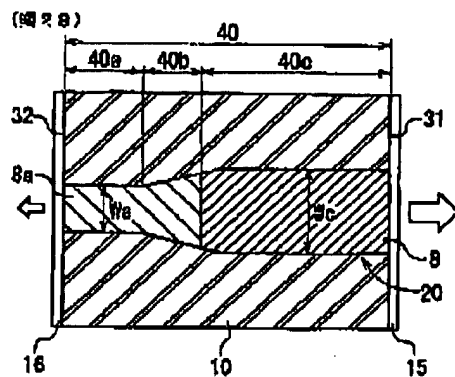
【图27】



- 8: p-A10<sub>3</sub>Gg7A8第2クラッド層  
8d: 電流非注入領域  
10: n-A10<sub>4</sub>Gg0<sub>6</sub>A<sub>6</sub>電流ブロック層  
11: n-G<sub>6</sub>A<sub>6</sub>電流ブロック層  
12: p-G<sub>6</sub>A<sub>6</sub>コンタクト層  
15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>AR膜  
18: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—S i HR膜  
20: リン酸化  
40: 光導波路  
52: イオン注入範囲

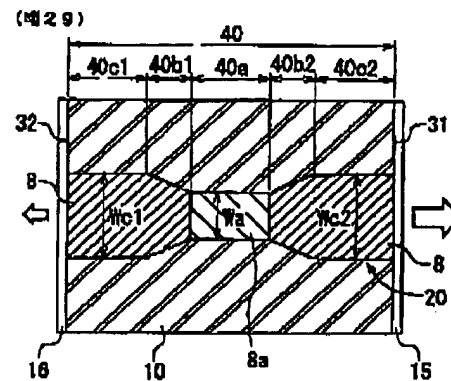
(23) 03-101139 (P2003-101139A)

【図28】



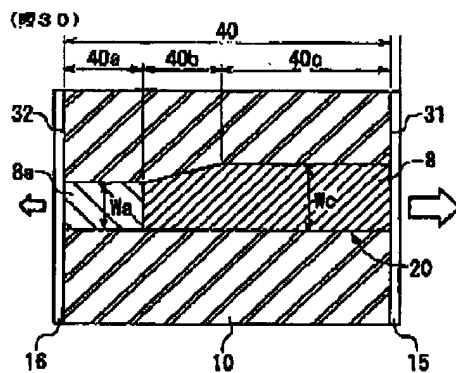
8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 電流非注入領域  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR膜  
 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜  
 20: リッジ構造  
 40: 光導波路

【図29】



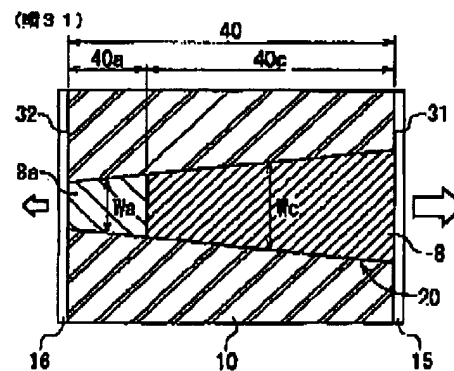
8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 電流非注入領域  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR膜  
 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜  
 20: リッジ構造  
 40: 光導波路

【図30】



8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 電流非注入領域  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR膜  
 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜  
 20: リッジ構造  
 40: 光導波路

【図31】

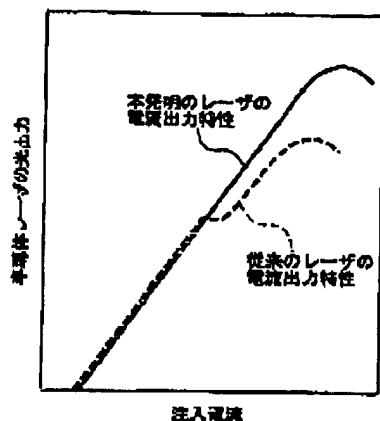


8: p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 第2クラッド層  
 8a: 電流非注入領域  
 10: n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 電流ブロック層  
 11: n-GaAs 電流ブロック層  
 12: p-GaAs コンタクト層  
 15: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AR膜  
 16: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si HR膜  
 20: リッジ構造  
 40: 光導波路

(24) 103-101139 (P2003-101139A)

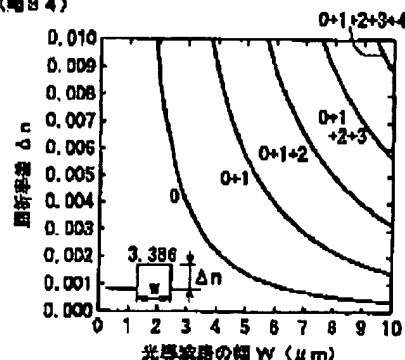
【図32】

(図32)



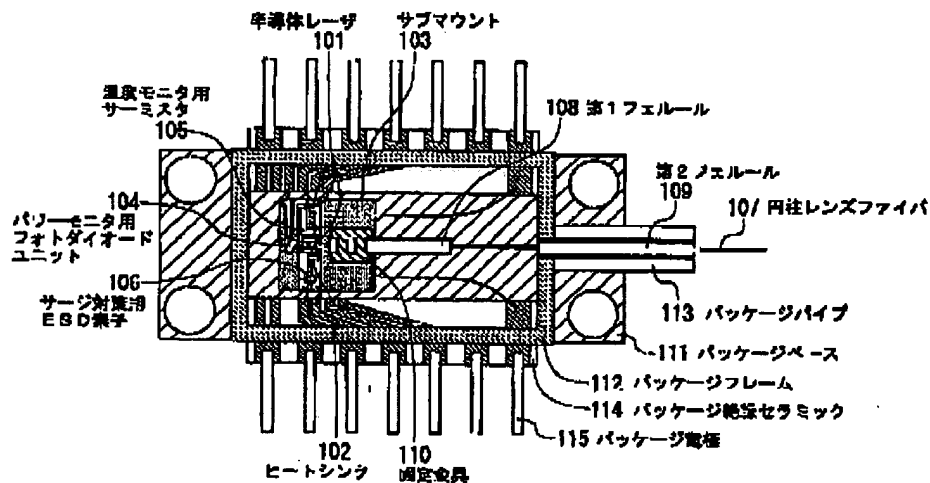
【図34】

(図34)



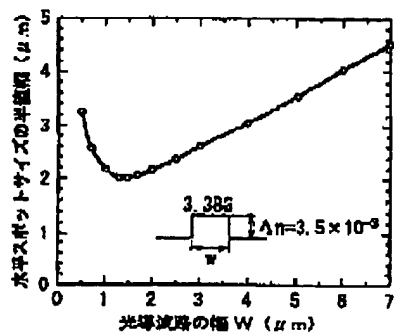
【図33】

(図33)



【図35】

(図35)





(25) 103-101139 (P2003-101139A)

フロントページの続き

Fターム(参考) ZH037 AA01 BA03 CA08 DA03 DA35  
5F073 AA07 AA13 AA35 AA45 AA53  
AA74 AA83 AA87 BA01 BA09  
CA07 DA14 DA15 EA16 EA18  
EA24 FA02 FA06 FA07 GA12  
GA14

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**